

# 东南大学电工电子实验中心

## 实 验 报 告

课程名称： 数字电路实验

### 第 1 次实验

实验名称： 组合逻辑电路

院（系）： 电气工程学院 专 业： 电气工程及其自动化

姓 名： 王皓冬 学 号： 16022627

实 验 室： 401 实验组别：

同组人员：  实验时间：

评定成绩：  审阅教师：

## 一、实验目的

- 1、认识数字集成电路，能识别各种类型的数字器件和封装
- 2、掌握小规模组合逻辑和逻辑函数的工程设计方法
- 3、掌握常用中规模组合逻辑器件的功能和使用方法
- 4、学习查找器件资料，通过器件手册了解器件。
- 5、了解面包板的基本结构、掌握面包板连接电路的基本方法 and 要求
- 6、了解实验箱的基本结构，掌握实验箱电源、逻辑开关和 LED 电平指示的用法
- 7、学习基本的数字电路的故障检查和排除方法

## 二、实验原理

### 1. 实验目的和要求

#### 1.1 数值判别电路（只允许用与非门、非门设计电路）

- a) 用门电路设计一个组合逻辑电路，它接收一位 8421BCD 码  $B_3B_2B_1B_0$ ，仅当  $2 < B_3B_2B_1B_0 < 7$  时输出 Y 才为 1
- b) 用门电路设计一个组合逻辑电路，它接收 4 位 2 进制数  $B_3B_2B_1B_0$ ，仅当  $2 < B_3B_2B_1B_0 < 7$  时输出 Y 才为 1

#### 1.2 用三种方案设计实现 3 位二进制原码转补码电路（3 位二进制数仅考虑 0 和负数，且已省去符号位）

- a) 全部用门电路实现
- b) 用数据选择器 74151+门电路实现
- c) 用三八译码器 74138+门电路实现

#### 1.3 人类有四种血型：A、B、AB 和 O 型。输血时，输血者与受血者必须符合下图的规定，否则有生命危险，利用数据选择器和最少数量的与非门，完成血型配对任务。

2. 实验原理

（部分原理图有误的修正后原理图部分见第 4 部分：实验记录）

2.1 数值判别电路

2.1.1 输入、输出信号编码

输入信号：用 B3、B2、B1、B0 分别对应输入 BCD 码与四位二进制数的每一位；  
输出信号：Y1 代表输入的 BCD 码是否处于区间（2，7），Y2 代表输入的四位二进制数是否处于区间（2，7），“1”处于，“0”不处于。BCD 码表示的输入，仅允许对应的整数在 10 以内时为有效输入，其余输入情况视为约束项。

2.1.2 列出真值表

根据题目要求，列出真值表表 1。

表 1 真值表

输入				输出	
B3	B2	B1	B0	Y2	Y1
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0
0	0	1	1	1	1
0	1	0	0	1	1
0	1	0	1	1	1
0	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	0	/
1	0	1	1	0	/
1	1	0	0	0	/
1	1	0	1	0	/
1	1	1	0	0	/
1	1	1	1	0	/

2.1.3 逻辑化简

根据真值表画出卡诺图，如图 1、图 2 所示，化简得到与或非表达式如式（1）。由于器件数量有限，对 Y1 进行变换，使得其需要更少的与门。考虑到只有与非门器件，转化，得到与非表达式（2）。

<b>B1B0</b>	<b>00</b>	<b>01</b>	<b>11</b>	<b>10</b>
-------------	-----------	-----------	-----------	-----------

B3B2				
00	0	0	1	0
01	1	1	0	1
11	0	0	0	0
10	0	0	0	0

图 1 Y2 卡诺图

B1B0	00	01	11	10
B3B2				
00	0	0	71	0
01	1	1	0	1
11	x	x	x	x
10	0	0	x	x

图 2 Y1 卡诺图

$$\begin{cases}
 Y_1 = B_3' B_2' B_1 B_0 + B_3' B_2 B_1 B_0' + B_3' B_2 B_1' \\
 \quad = B_3' B_2' (B_1 B_0 + (B_1 B_0)') \\
 Y_2 = B_2 B_1' + B_2 B_0' + B_2' B_1 B_0
 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases}
 Y_1 = \overline{\overline{B_3} \overline{B_2} B_1 B_0} \cdot \overline{\overline{B_3} \overline{B_2} B_1' B_0'} \\
 Y_2 = \overline{\overline{B_2} \overline{B_1} B_0} \cdot \overline{\overline{B_2} B_1 B_0}
 \end{cases} \quad (2)$$

#### 2.1.4 逻辑电路图

根据逻辑函数表达式 (1)，绘制出电路原理图如图 3、图 4 所示（反变量所需的非门未画出），其中输入信号的原变量从实验箱上的逻辑电平开关获得，反变量需要另外接非门来实现。

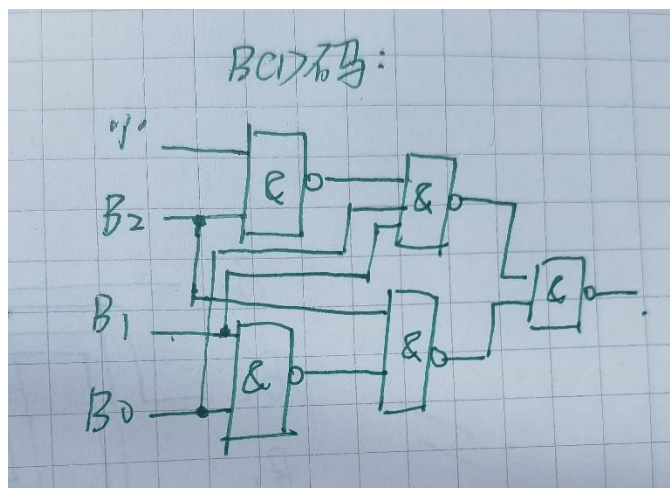


图 3 BCD 码电路图

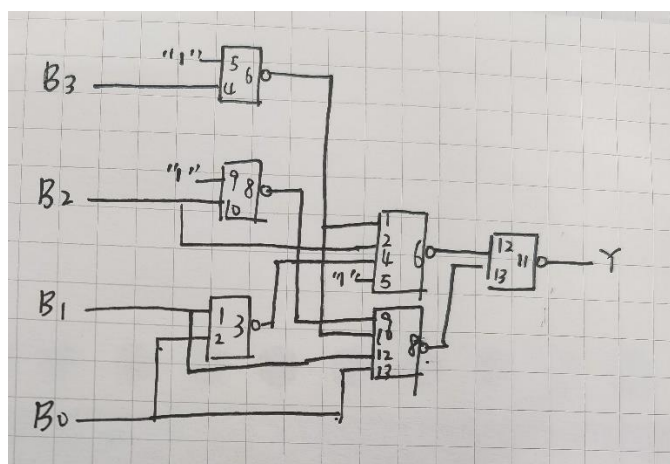


图 4 二进制码电路图

## 2. 1. 5 硬件连接示意图

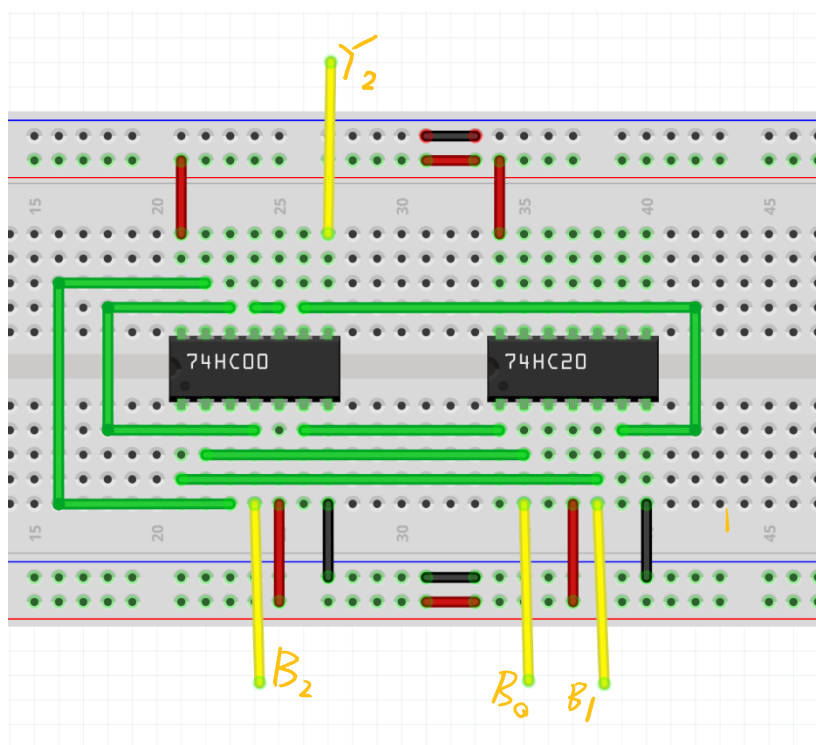


图 5 BCD 码

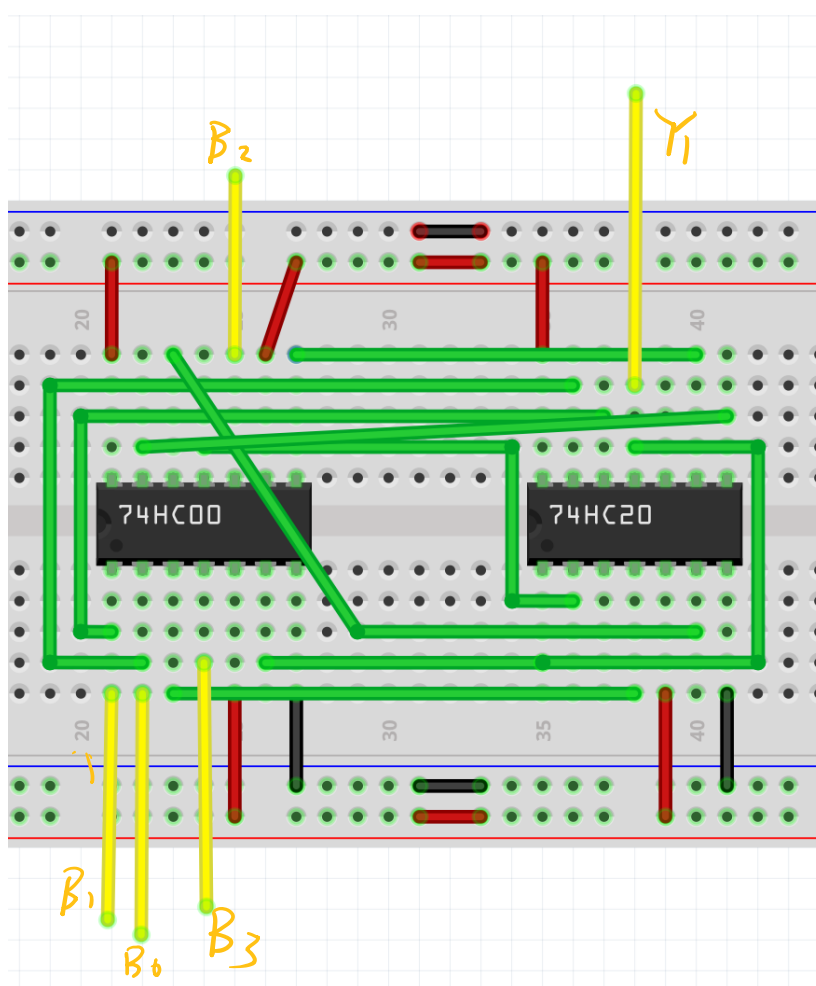


图 6 二进制码

2. 1. 6 测试方案

4 个输入信号，用实验箱上的逻辑电平开关实现，1 个输出端连接到实验箱上的 LED，按照真值表的要求，拨动逻辑电平开关改变输入信号值，遍历 16 种输入组合，并观察输出信号值，输出 LED 亮则输出为 1，灭则输出为 0，将测试结果填入表 2。

表 2

输入				输出		测试结果	
B3	B2	B1	B0	Y2	Y1	Y2	Y1
0	0	0	0	0	0		
0	0	0	1	0	0		
0	0	1	0	0	0		
0	0	1	1	1	1		
0	1	0	0	1	1		
0	1	0	1	1	1		
0	1	1	0	1	1		
0	1	1	1	0	0		
1	0	0	0	0	0		
1	0	0	1	0	0		
1	0	1	0	0	/		
1	0	1	1	0	/		
1	1	0	0	0	/		
1	1	0	1	0	/		
1	1	1	0	0	/		
1	1	1	1	0	/		

2.2 三位二进制数原码转补码电路

2.2.1 输入、输出信号编码

输入信号：用 B2、B1、B0 分别对应输入三位二进制数的每一位；角标大者为高位。  
输出信号：用 Y2、Y1、Y0 分别对应输入三位二进制数的每一位，角标大者为高位；“1”为真，“0”为假。

2.2.2 列出真值表

根据题目要求，列出真值表。

真值表

输入			输出		
B2	B1	B0	Y2	Y1	Y0
0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1
0	1	0	1	1	0
0	1	1	1	0	1
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	1	1
1	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	1

鉴于三个实验真值表相同，在此共用一套真值表。



## 2.2.3 全部用门电路实现

### 2.2.3.1 逻辑化简

根据真值表画出卡诺图，如图所示，化简得到与或非表达式如式（1）。考虑到只有与非门器件，并且 Y2 可以化为同 z 或式，从而含有与 Y1 中共同含有的项，减少与非门的使用；转化，得到与非表达式（2）。

B1B0 B2	00	01	11	10
0	0	1	1	1
1	1	0	0	0

图 7 Y2 卡诺图

B1B0 B2	00	01	11	10
0	0	1	0	1
1	0	1	0	1

图 8 Y1 卡诺图

B1B0 B2	00	01	11	10
0	0	1	1	0
1	0	1	1	0

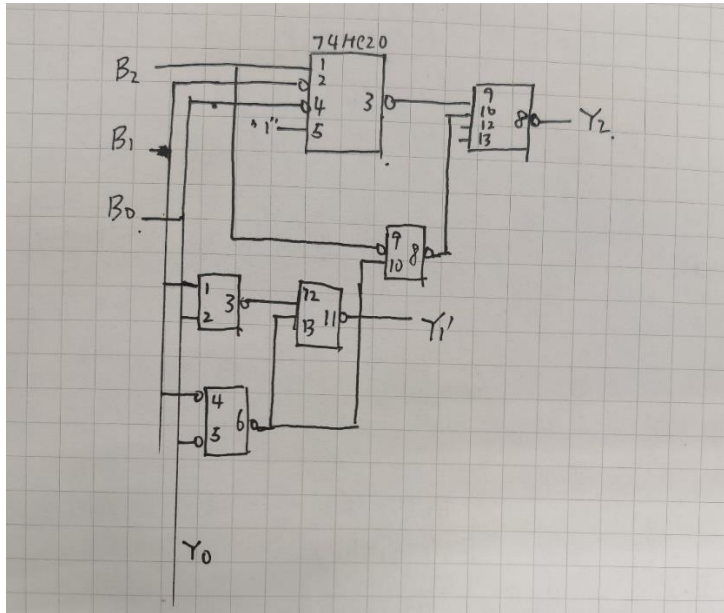
图 9 Y0 卡诺图

$$\begin{cases} Y_2 = B_2 \bar{B}_1 \bar{B}_0 + \bar{B}_2 B_0 + \bar{B}_2 B_1 \\ Y_1 = \bar{B}_1 B_0 + B_1 \bar{B}_0 \\ Y_0 = B_0 \end{cases} \quad (1)$$

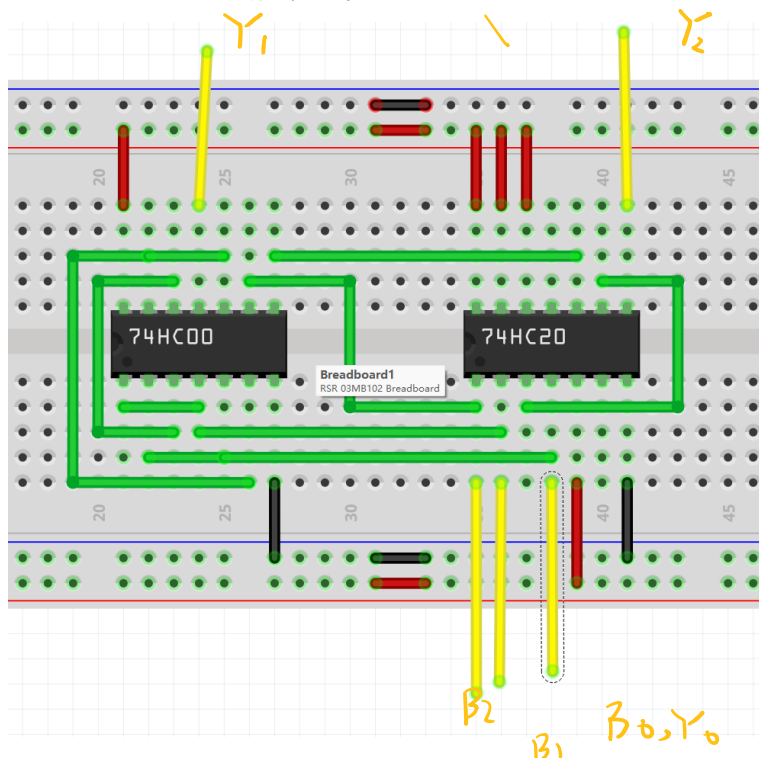
$$\begin{cases} Y_2 = \overline{B_2 \overline{B_1} \overline{B_0}} \cdot \overline{B_2 \overline{B_1} B_0} \\ Y_1 = \overline{B_1 \overline{B_0}} \cdot \overline{B_1 B_0} \\ Y_0 = B_0 \end{cases} \quad (2)$$

### 2.2.3.2 逻辑电路图

根据逻辑函数表达式 (2)，绘制出电路原理图如图所示（反变量所需的非门未画出），其中输入信号的原变量从实验箱上的逻辑电平开关获得，反变量需要另外接非门来实现。



### 2.2.3.3 硬件连接示意图



2.2.3.4 测试方案

3 个输入信号，用实验箱上的逻辑电平开关实现，3 个输出端连接到实验箱上的 LED，按照真值表的要求，拨动逻辑电平开关改变输入信号值，遍历 8 种输入组合，并观察输出信号值，输出 LED 亮则输出为 1，灭则输出为 0，将测试结果以对应补码数的形式填入下表。

表 3

输入			输出			灯对应的补码
B2	B1	B0	Y2	Y1	Y0	
0	0	0	0	0	0	
0	0	1	1	1	1	
0	1	0	1	1	0	
0	1	1	1	0	1	
1	0	0	1	0	0	
1	0	1	0	1	1	
1	1	0	0	1	0	
1	1	1	0	0	1	

## 2.2.4 用数据选择器 74151+门电路实现

### 2.2.4.1 逻辑化简

根据真值表写出逻辑函数的最小项之和形式，如式（1）。考虑到式  $Y_0=B_0$  可以直接从输入端接入，无需拆分为最小项，将其保留。

$$\begin{cases} Y_2 = \overline{B}_2\overline{B}_1B_0 + \overline{B}_2B_1\overline{B}_0 + \overline{B}_2B_1B_0 + B_2\overline{B}_1\overline{B}_0 = m_1+m_2+m_3+m_4 \\ Y_1 = \overline{B}_2\overline{B}_1B_0 + \overline{B}_2B_1\overline{B}_0 + B_2\overline{B}_1B_0 + B_2B_1\overline{B}_0 = m_1+m_2+m_5+m_6 \end{cases} \quad (1)$$

$$Y_0 = B_0$$

画出  $Y_2$ 、 $Y_1$  的卡诺图：

B1B0 B2	00	01	11	10
0	0	1	1	1
1	1	0	0	0

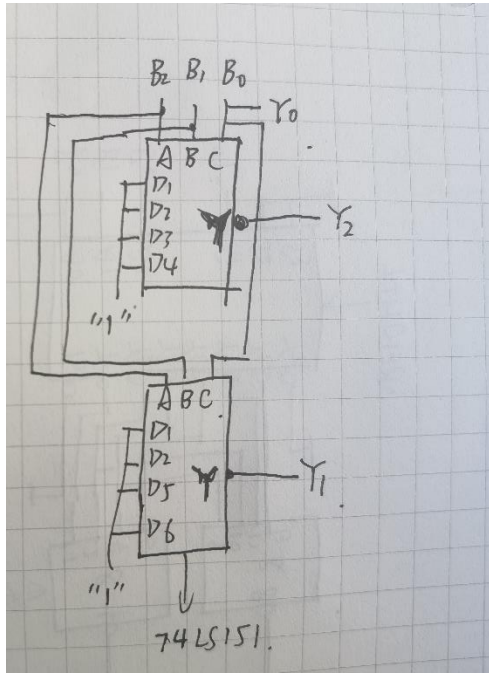
图 10  $Y_2$  卡诺图

B1B0 B2	00	01	11	10
0	0	1	0	1
1	0	1	0	1

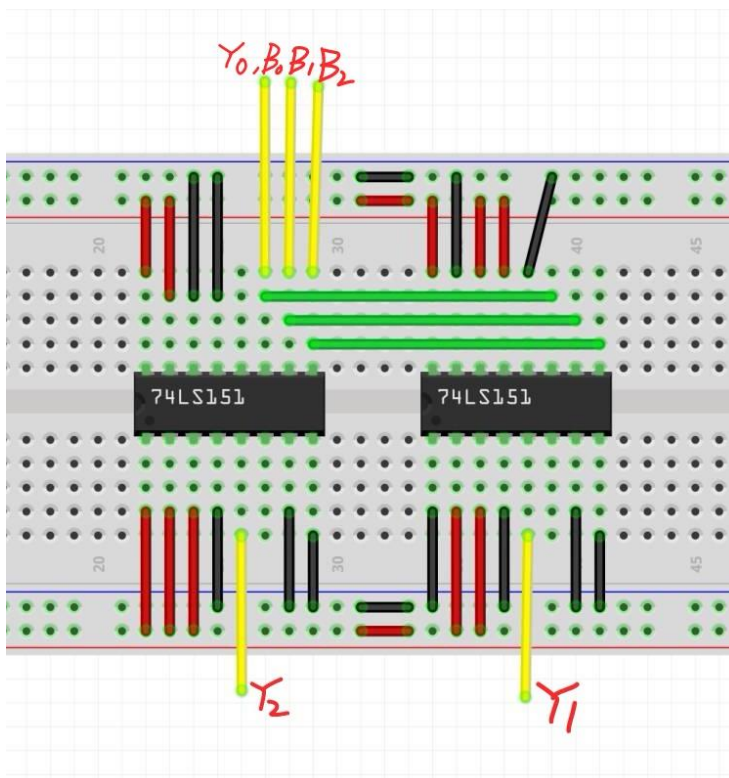
图 11  $Y_1$  卡诺图

### 2.2.4.2 逻辑电路图

根据式（1）绘制出电路原理图如图所示，其中输入信号的原变量从实验箱上的逻辑电平开关获得。



#### 2.2.4.3 硬件连接示意图



#### 2.2.4.4 测试方案

3 个输入信号，用实验箱上的逻辑电平开关实现，3 个输出端连接到实验箱上的 LED，按照真值表的要求，拨动逻辑电平开关改变输入信号值，遍历 8 种输入组合，并观察输出信号值，输出 LED 亮则输出为 1，灭则输出为 0，将测试结果以对应补码数的形式填入下表。

输入			输出			灯对应的补码
B2	B1	B0	Y2	Y1	Y0	
0	0	0	0	0	0	
0	0	1	1	1	1	
0	1	0	1	1	0	
0	1	1	1	0	1	
1	0	0	1	0	0	
1	0	1	0	1	1	
1	1	0	0	1	0	
1	1	1	0	0	1	

## 2.2.5 用三八译码器 74138+门电路实现

### 2.2.5.1 逻辑化简

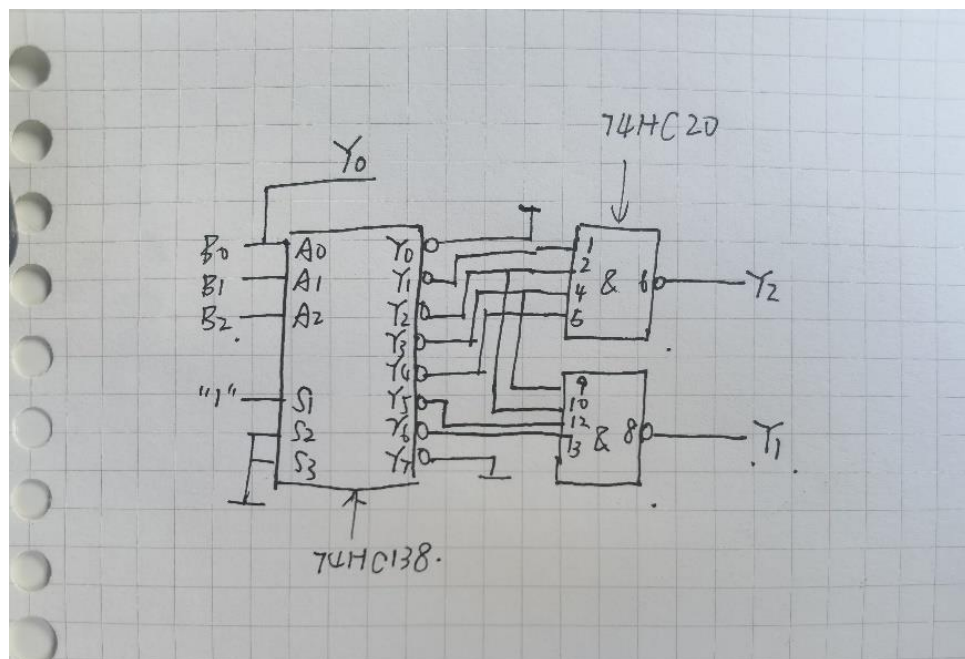
根据真值表写出逻辑函数的最小项之和形式，如式（1）。将最小项之和形式化为与非式，如式（2）。考虑到式  $Y_0=B_0$  可以直接从输入端接入，无需拆分为最小项，将其保留。

$$\begin{cases} Y_2 = \overline{B_2}\overline{B_1}B_0 + \overline{B_2}B_1\overline{B_0} + \overline{B_2}B_1B_0 + B_2\overline{B_1}\overline{B_0} = m_1+m_2+m_3+m_4 \\ Y_1 = \overline{B_2}\overline{B_1}B_0 + \overline{B_2}B_1\overline{B_0} + B_2\overline{B_1}B_0 + B_2B_1\overline{B_0} = m_1+m_2+m_5+m_6 \\ Y_0 = B_0 \end{cases} \quad (1)$$

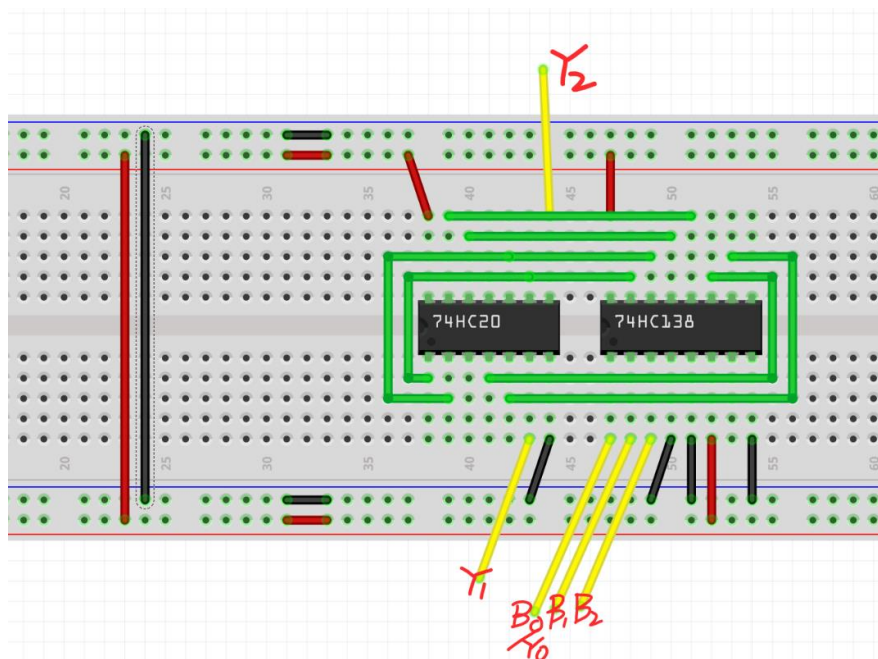
$$\begin{cases} Y_2 = \overline{\overline{\overline{B_2}\overline{B_1}B_0} \cdot \overline{\overline{\overline{B_2}B_1\overline{B_0}} \cdot \overline{\overline{\overline{B_2}B_1B_0}} \cdot \overline{\overline{B_2\overline{B_1}\overline{B_0}}}} \\ Y_1 = \overline{\overline{\overline{B_2}\overline{B_1}B_0} \cdot \overline{\overline{\overline{B_2}B_1\overline{B_0}} \cdot \overline{\overline{\overline{B_2\overline{B_1}B_0}} \cdot \overline{\overline{B_2B_1\overline{B_0}}}}} \\ Y_0 = B_0 \end{cases} \quad (2)$$

### 2.2.5.2 逻辑电路图

根据逻辑函数表达式（2），绘制出电路原理图如图所示，其中输入信号的原变量从实验箱上的逻辑电平开关获得。



### 2.2.5.3 硬件连接示意图



#### 2.2.5.4 测试方案

3 个输入信号，用实验箱上的逻辑电平开关实现，3 个输出端连接到实验箱上的 LED，按照真值表的要求，拨动逻辑电平开关改变输入信号值，遍历 8 种输入组合，并观察输出信号值，输出 LED 亮则输出为 1，灭则输出为 0，将测试结果以对应补码数的形式填入下表。

输入			输出			灯对应的补码
B2	B1	B0	Y2	Y1	Y0	
0	0	0	0	0	0	
0	0	1	1	1	1	
0	1	0	1	1	0	
0	1	1	1	0	1	
1	0	0	1	0	0	
1	0	1	0	1	1	
1	1	0	0	1	0	
1	1	1	0	0	1	



2.3 血型配对

2.3.1 输入、输出信号编码

输入信号：用 G2、G1 分别代表输血者血型“有 A”、“有 B”，即 G1G2、G1’G2、G1G2’、G1’G2’ 分别代表 AB 型血、A 型血、B 型血、O 型血；R2、R1 分别代表受血者血型“有 A”、“有 B”，即 R1R2、R1’R2、R1R2’、R1’R2’分别代表 AB 型血、A 型血、B 型血、O 型血。

输出信号：用 S 表征是否能输血；“0”为可以输血，“1”为不能输血。

2.3.2 列出真值表

根据题目要求，列出真值表。

真值表

输入				输出
输血者		受血者		/
G1	G2	R1	R2	S
0	0	0	0	1
0	0	1	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	1	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	1	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1

由于要求利用 4 选 1 数据选择器，用 R 变量降维：

输入				输出	
输血者		受血者		/	
G1	G2	R1	R2	S	
0	0	0	0	1	1
0	0	1	0	1	
0	0	0	1	1	
0	0	1	1	1	
1	0	0	0	0	R1
1	0	1	0	1	
1	0	0	1	0	

1	0	1	1	1	R2
0	1	0	0	0	
0	1	1	0	0	
0	1	0	1	1	
0	1	1	1	1	
1	1	0	0	0	R1R2
1	1	1	0	0	
1	1	0	1	0	
1	1	1	1	1	

G1	G2	R1	S
0	0	0	1
0	0	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
0	1	0	R2
0	1	1	R2
1	1	0	0
1	1	1	R2

### 2.3.3 逻辑化简

根据真值表写出逻辑函数的最小项之和形式式（1），并利用卡诺图化简，得式（2）。

$$S = \sum m_i, i = 0,1,2,3,5,7,10,11,13,14,15 \quad (1)$$

G1G2 R1R2	00	01	11	10
00	0	1	1	1
01	0	0	1	1
11	0	0	0	0
10	0	1	1	0

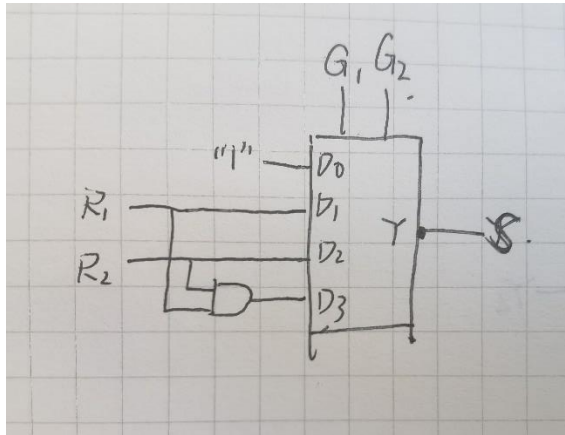
$$S = G_1 \bar{R}_1 + G_2 \bar{R}_2 \quad (2)$$

根据降维后的真值表，转化为下式：

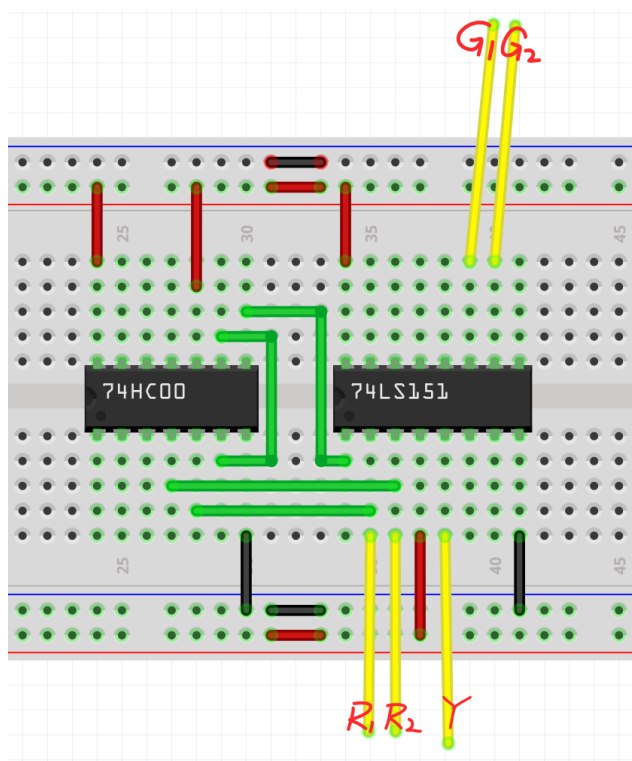
$$S = 1 \cdot \bar{G}_1 \bar{G}_2 + R_1 \cdot G_1 \bar{G}_2 + R_2 \cdot \bar{G}_1 G_2 + R_1 R_2 \cdot G_1 G_2 \quad (3)$$

### 2.3.4 逻辑电路图

根据式（3）绘制出电路原理图如图所示，其中输入信号的原变量从实验箱上的逻辑电平开关获得。



### 2.3.5 硬件连接示意图



### 2.3.6 测试方案

4 个输入信号，用实验箱上的逻辑电平开关实现，1 个输出端连接到实验箱上的 LED，按照真值表的要求，拨动逻辑电平开关改变输入信号值，遍历 16 种输入组合，并观察输出信号值，输出 LED 亮则输出为 1，灭则输出为 0，将测试结果填入下表。

输入				输出	测试结果
输血者		受血者		/	/
G1	G2	R1	R2	S	/

0	0	0	0	1	
0	0	1	0	1	
0	0	0	1	1	
0	0	1	1	1	
1	0	0	0	0	
1	0	1	0	1	
1	0	0	1	0	
1	0	1	1	1	
0	1	0	0	0	
0	1	1	0	0	
0	1	0	1	1	
0	1	1	1	1	
1	1	0	0	0	
1	1	1	0	1	
1	1	0	1	1	
1	1	1	1	1	

### 3. 实验仪器

易派箱

4. 实验记录与结果分析，记录实验具体步骤、原始数据、实验过程、  
实验中遇到的故障现象、排除故障的过程和方法等

4.1 数值判别电路

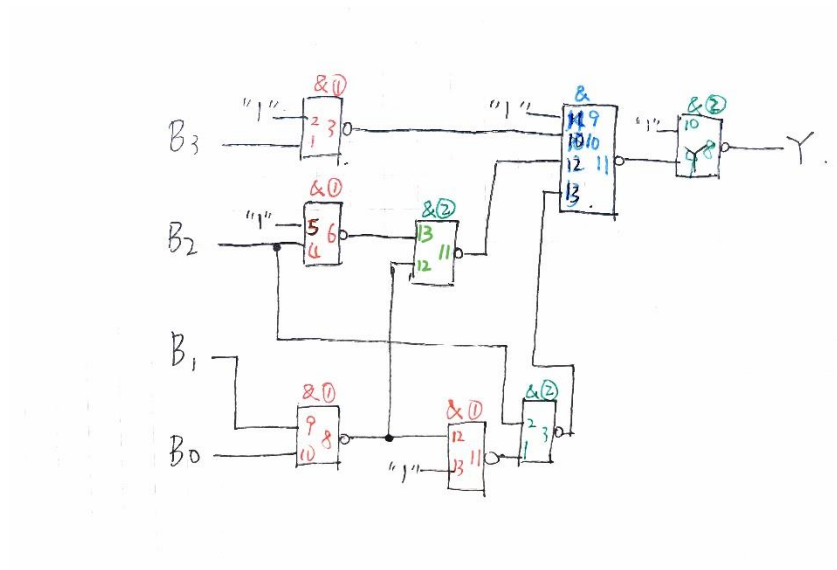
4.1.1 实验步骤

4 个输入信号，用实验箱上的逻辑电平开关实现，1 个输出端连接到实验箱上的 LED，按照真值表的要求，拨动逻辑电平开关改变输入信号值，分别遍历 10 种、16 种输入组合，并观察输出信号值，输出 LED 亮则输出为 1，灭则输出为 0，与真值表对比。

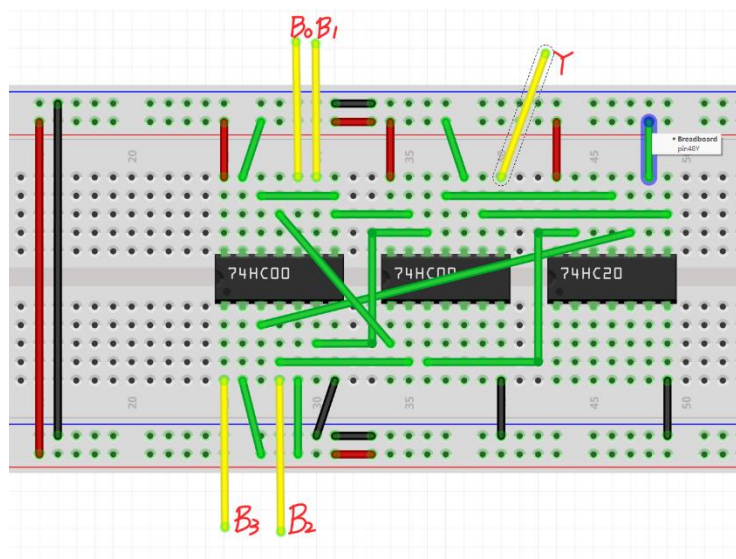
输入				输出	
B3	B2	B1	B0	Y2	Y1
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0
0	0	1	1	1	1
0	1	0	0	1	1
0	1	0	1	1	1
0	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	0	/
1	0	1	1	0	/
1	1	0	0	0	/
1	1	0	1	0	/
1	1	1	0	0	/
1	1	1	1	0	/

4.1.2 故障调试

实验中，发现接通电源后灯泡有微弱亮光。经万用表检验，发现输入端电压与输出端电压约为 2V，地线接触不良。  
解决上述问题后，遍历输入组合。BCD 码电路结果与真值表相符，二进制码电路结果与真值表不符。经检验电路原理图，发现二进制码电路图设计时未考虑非门的影响。重新设计电路图如下：



对应的硬件连接示意图如下：



#### 4.1.3 实验数据

修改电路后，遍历输入组合：

输入				输出		测试结果
B3	B2	B1	B0	Y2	Y1	Y2
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1
0	1	0	0	1	1	1
0	1	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	1	1
0	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0

1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	/	0
1	0	1	1	0	/	0
1	1	0	0	0	/	0
1	1	0	1	0	/	0
1	1	1	0	0	/	0
1	1	1	1	0	/	0

实验结论与预期相符，调试成功。



## 4.2 三位二进制数原码转补码

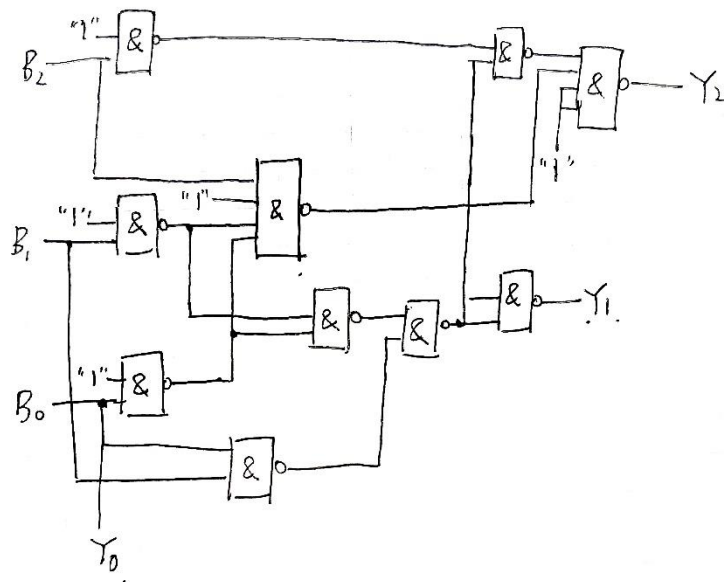
### 4.2.1 实验步骤

3 个输入信号，用实验箱上的逻辑电平开关实现，3 个输出端连接到实验箱上的 LED，按照真值表的要求，拨动逻辑电平开关改变输入信号值，遍历 8 种输入组合，并观察输出信号值，输出 LED 亮则输出为 1，灭则输出为 0，将测试结果与真值表对比。

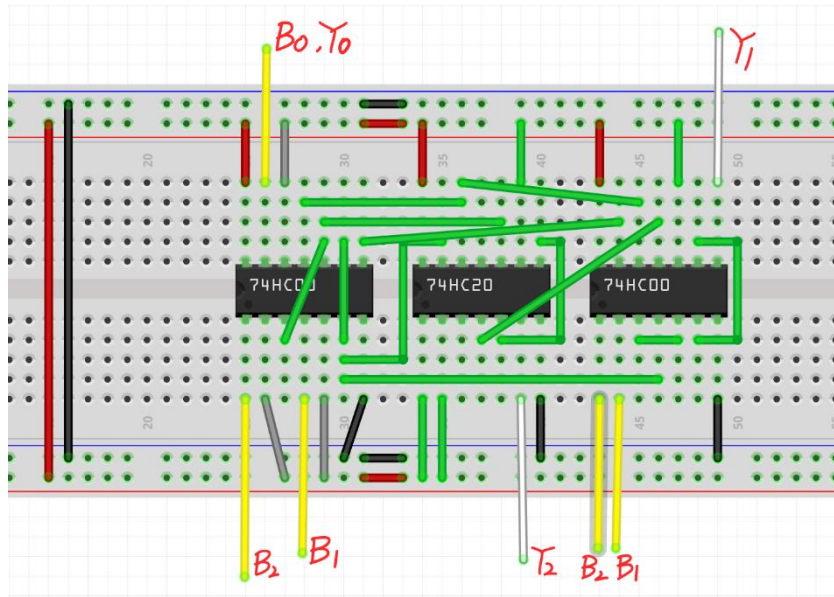
输入			输出		
B2	B1	B0	Y2	Y1	Y0
0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1
0	1	0	1	1	0
0	1	1	1	0	1
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	1	1
1	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	1

### 4.2.2 故障调试

数据选择器、三八译码器实现的电路结果与真值表相符，与非门电路与真值表不符。经检验电路图，发现同样是因为电路原理图设计时没有考虑非门的影响。重新设计电路图如下：



对应的硬件连接示意图如下：



#### 4. 2. 3 实验数据

修正电路图后，遍历 8 种输入：

输入			输出			灯对应的补码
B2	B1	B0	Y2	Y1	Y0	/
0	0	0	0	0	0	000
0	0	1	1	1	1	111
0	1	0	1	1	0	110
0	1	1	1	0	1	101
1	0	0	1	0	0	100
1	0	1	0	1	1	011
1	1	0	0	1	0	010
1	1	1	0	0	1	001

实验结果与预期相符，调试成功。

4.3 血型配对

4.3.1 实验步骤

4 个输入信号，用实验箱上的逻辑电平开关实现，1 个输出端连接到实验箱上的 LED，按照真值表的要求，拨动逻辑电平开关改变输入信号值，遍历 16 种输入组合，并观察输出信号值，输出 LED 亮则输出为 1，灭则输出为 0，将测试结果与真值表对比。

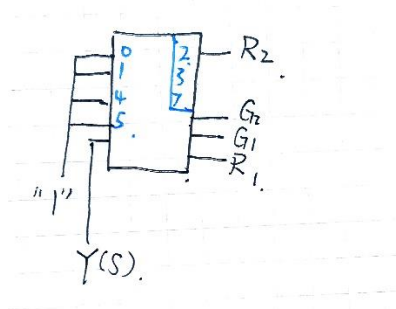
输入				输出
输血者		受血者		/
G1	G2	R1	R2	S
0	0	0	0	1
0	0	1	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	1	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	1	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1

4.3.2 故障调试

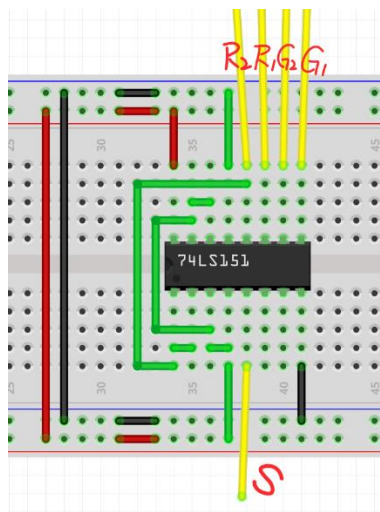
由于 mooc 中要求的用半片选择器，原变量降 2 维的电路实验与结论不符，重新对变量降维如下：

G1	G2	R1	S
0	0	0	1
0	0	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
0	1	0	R2
0	1	1	R2
1	1	0	0
1	1	1	R2

电路原理图设计：



对应的硬件连接示意图：



#### 4.3.3 实验数据

修改电路图后，遍历 16 种输入组合：

输入				输出	测试结果
输血者		受血者		/	/
G1	G2	R1	R2	S	/
0	0	0	0	1	1
0	0	1	0	1	1
0	0	0	1	1	1
0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	1
1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0
0	1	0	1	1	1
0	1	1	1	1	1
1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1

1	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---

实验结果与预期相符，调试成功。

## 5. 实验小结

本次实验分两周，其实完成得不是很好。

首先是 week6 的三个实验任务：由于不知道反变量该怎么获取，最开始我忽略了反变量，把原变量当作反变量接入电路中，导致后两个实验均失败。同时，由于对实操不太熟悉，在课前没有自己调试电路，在课上调试的时候，对于接触不良的部分花了太多时间调试。最后，对于器材方面，我并没有使用异或门 7486，导致电路图相应变复杂了许多。所以，week6 的任务我花了很长时间重新设计电路并搭接，week6 的任务对我来说更是一种熟悉电路实操的任务。

对于 week7 任务，有了 week6 中的经验，week7 的任务变得比较容易，电路搭接也快了许多。缺陷是，对于血型判断的实验，虽然修改电路原理图后调试成功了，但并没有找出原电路图的错因。在 week7 的任务中的一大收获也包括了电路搭接的标准化，以及如何合理分配引脚，增强硬件连接图的可读性与美观性。

## 6. 实验思考题

无

## 7. 参考资料

《数字逻辑电路 A 教学计划 2023》